

Zukunftsperspektiven für das Prüfen am BIM Modell mittels **konstruktiver KI**

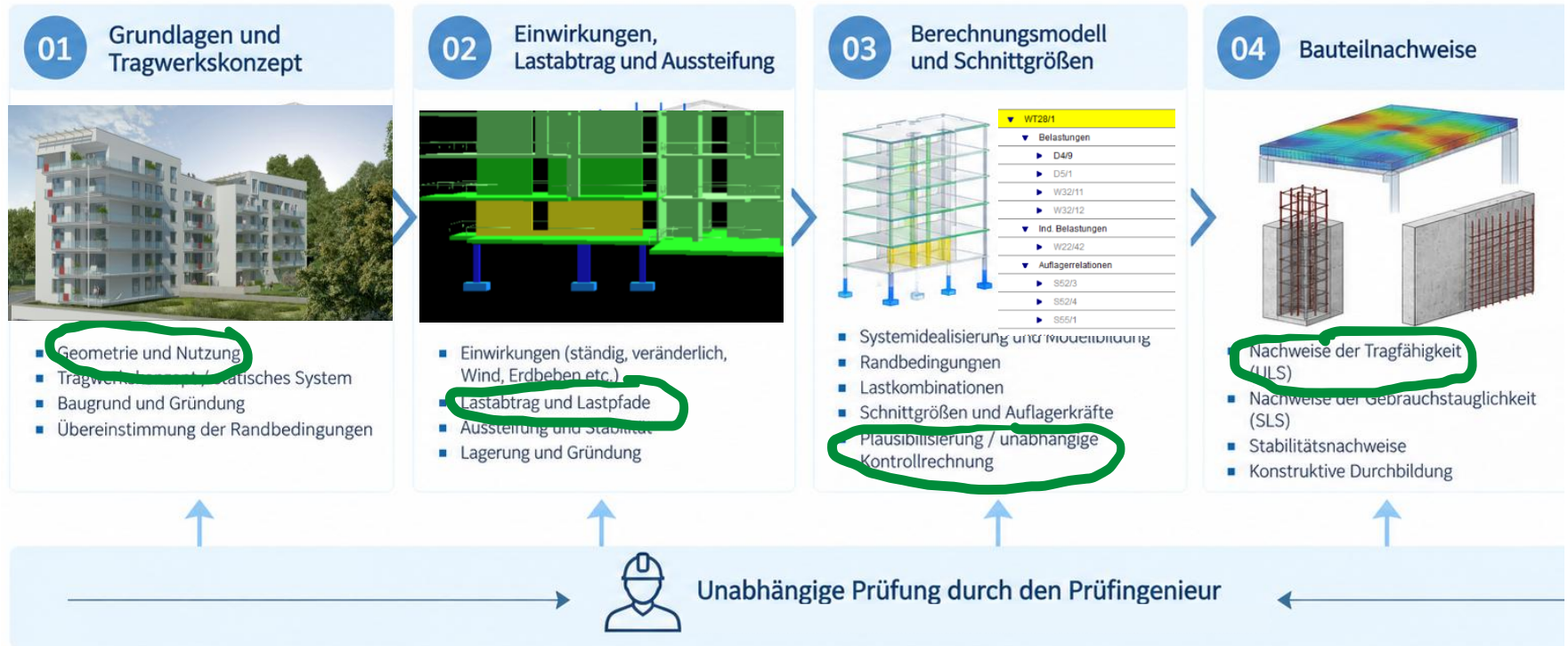


Prof. Dr.-Ing. Michael Eisfeld MSc
Hochschule Bielefeld | Prüfeningenieur für Baustatik

1. Wo kann KI das Prüfen potenziell unterstützen?
2. Warum reicht lernende KI allein nicht aus?
3. Wie wird das Tragwerk der Statik zur Wissensstruktur?
4. Welche neuen Prüfmethoden könnten daraus entstehen?

**Wo kann KI
die bautechnische Prüfung unterstützen?**

DIE HEUTIGE BAUTECHNISCHE PRÜFUNG



Potenzielle KI assistierte Arbeitsschritte mit BIM & KI:

→ Zeit einsparen, Fehler finden, Nachvollziehbarkeit erhöhen

1. Überprüfung der Bauantragsplanung mit Standsicherheitsnachweis
2. Kontrolle des Lastabtrags bei komplexen Tragwerken (teilweise 3D berechnet)
3. Plausibilisierung der Bemessung auf Grundlage von selbst ermittelten Schnittgrößen

Korrektheit und Reproduzierbarkeit

Fachlich gleiche und richtige Ergebnisse unter definierten Bedingungen

Robustheit

Stabile Ergebnisse auch bei unvollständigen oder falschen BIM-Modellen

Datensouveränität

Der Algorithmus und die Projekt-/Prüfdaten müssen datensouverän bereitgestellt werden

Nachvollziehbarkeit

Prüfergebnis, Regelbezug und Unsicherheit müssen zur Bewertung durch den Prüferingenieur klar erkennbar sein

Abschließende Entscheidung muss beim Prüferingenieur verbleiben, ähnlich wie die Bewertung der Ergebnisse einer FE-Berechnung!

Kann neurosymbolische KI diese Anforderungen erfüllen?

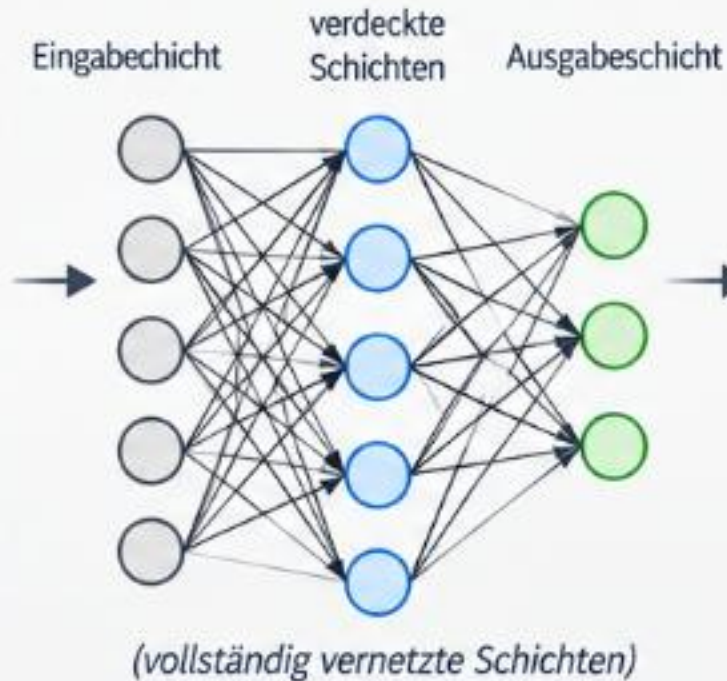
Was ist neurosymbolische KI?

eine Abbildung von Eingabedaten auf Ausgabewerte

Neuronales Netz

Eingabe

z. B.
Geometrieparameter
Materialkennwerte
Lasten
Lagerungsbedingungen
...
als Vektor/Matrix
(tabellarische Daten)



Ausgabe

z. B.
• N
• V
• M
• Verformung
• ...
für einen
definierten Fall

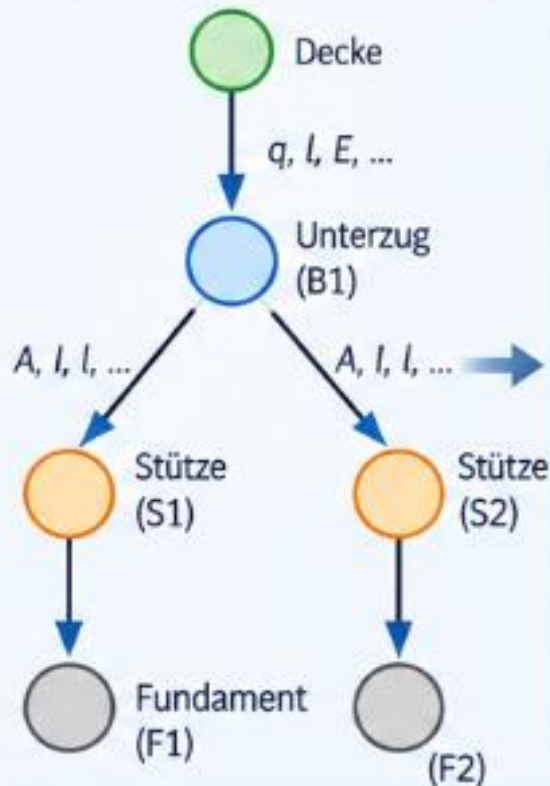
- Berücksichtigt keine Struktur/Topologie des Tragwerks
- Beziehungen zwischen Bauteilen müssen indirekt aus Daten gelernt werden

- Physikalische Konsistenz und Plausibilität sind nicht automatisch gegeben

WAS SIND GRAPH NEURAL NETWORKS?

Lernt aus der Struktur des Tragwerks (gerichteter Graph)

Eingabe: Gerichteter Tragwerksgraph



Je Knoten
neuronales Netz

Message Passing
(gerichteter Graph)



Lernt Knoten-, Kanten-
und Graphrepräsentationen

Ausgabe (Beispiele)

Bauteilbezogene Ergebnisse

- Schnittgrößen (N, V, M)
- Verformungen
- Ausnutzungsgrade
- relevante statische Positionen

Graphbezogene Ergebnisse

- Plausibilitätsprüfung
- Vollständigkeit (fehlende Lastpfade, unverbundene Bauteile)
- Klassifikation (z. B. Tragwerksart, System, Lagerung)
- Empfehlungen / Hinweise



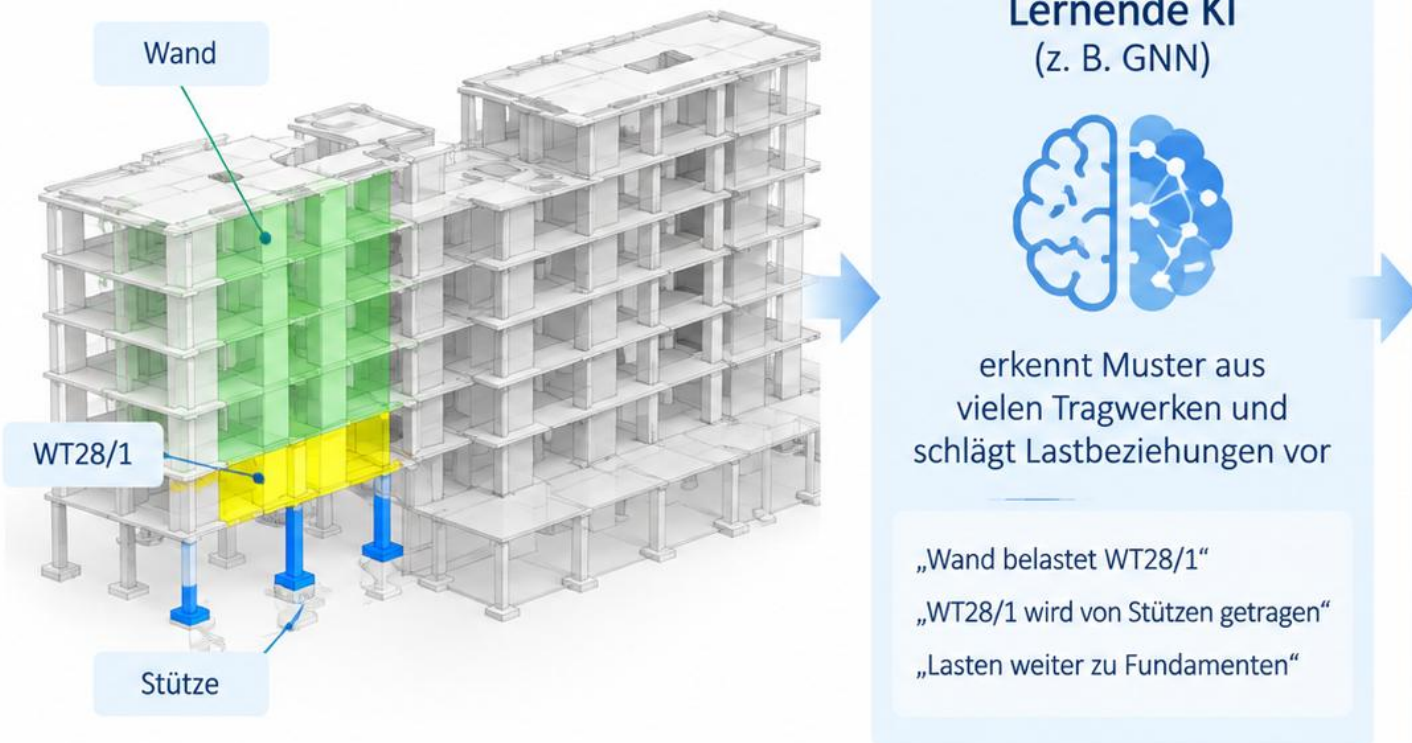
Nutzt die Graphstruktur des Tragwerks (Bauteile, gerichtete Relationen)



Lernt sowohl Knotenattribute (z. B. Geometrie, Material) als auch Kantenattribute (z. B. Lastübertragung, Steifigkeit, Einflussfunktionen)



Generalisiert auf neue, ähnliche Tragwerke und Topologien



Drei Anforderungen, die ein lernendes Verfahren allein nicht garantiert:

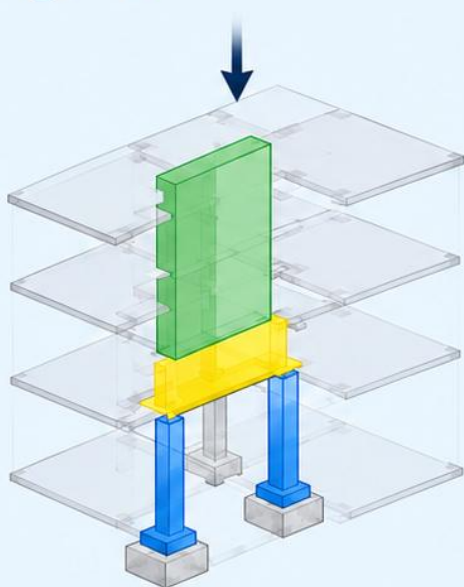
1. Ingenieurwissen: Ist der Lastabtrag plausibel?
2. Statik: Besteht Gleichgewicht und sind Schnittgrößen richtig?
3. Normen: Kann die Bemessung passen?

WIE WIRD AUS EINEM KI-VORSCHLAG EIN PRÜFBARER VORSCHLAG?



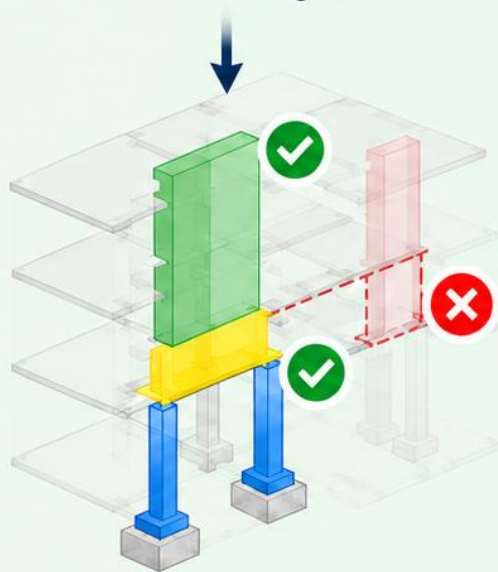
Vorschlag erzeugen

Muster und Beziehungen
im Tragwerk erkennen



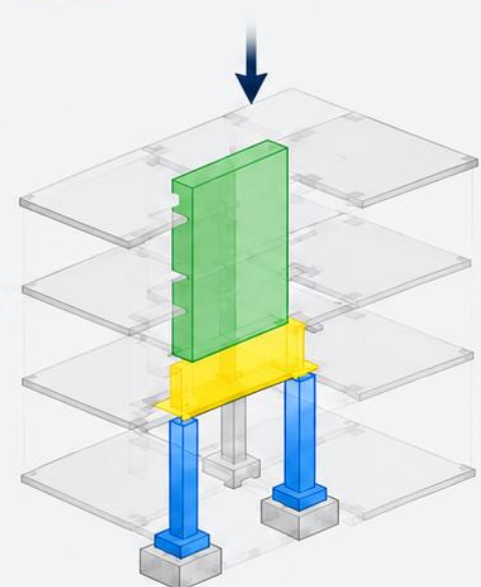
Plausibilität prüfen

Zulässige Lösungen auf Basis von
Ingenieurwissen und Regelwerken
eingrenzen



Quantitativ verifizieren

Mechanische Gesetzmäßigkeiten
und Nachweise prüfen

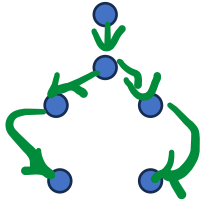


Die abschließende Bewertung und Entscheidung verbleibt beim Prüfsingenieur.

Die KI unterstützt mit Vorschlägen, Ingenieurwissen und Regeln grenzen diese ein
und deterministische Verfahren verifizieren die Ergebnisse.

Gerichteter Graph

Knoten sind Bauteile und Pfeile Lastfluss, wobei Attribute Graph annotieren.



$$Wand \rightarrow WT28/1 \rightarrow \begin{cases} Stütze_1 \\ Stütze_2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} Fundament_1 \\ Fundament_2 \end{cases}$$

Logische Formeln als Theorie

Einschränkung möglicher Lastflüsse, die plausibel sind.

$$WandartigerTräger \sqsubseteq \forall belastetDurch.(Wand \sqcup Stütze) \sqcap \exists^{\geq 2} liegtAuf.Stütze$$

Einflussfunktionen

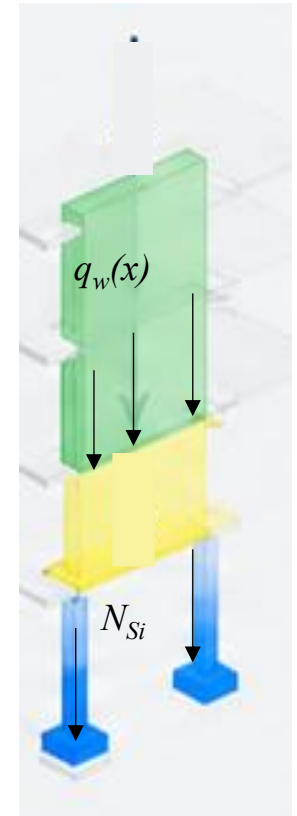
FE-Modell/e für statische Systeme (SG/AR, Beanspruchbarkeiten als Attribute).

$$Wand \xrightarrow{q_W(x)} WT28/1 \xrightarrow{G_{N,S1}(x)} Stütze\ 1$$

$$N_{S_i} = \int_{WT28/1} G_{N,S_i}(x) q_W(x) dx$$

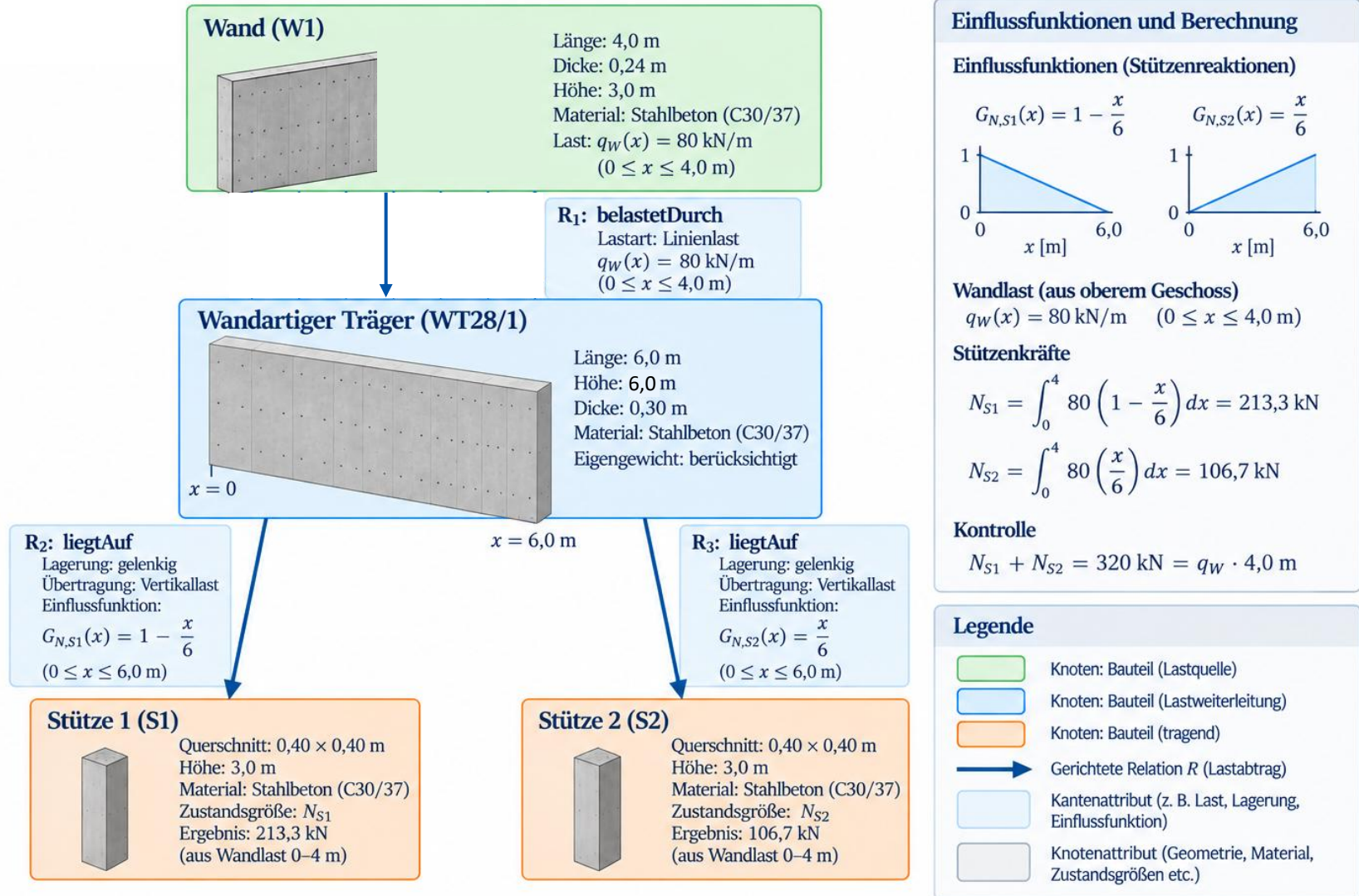
mit: $G_{N,S1}(x) = 1 - \frac{x}{6}$

gleichmäßig eingeleitete Wandlast: q_W :



Das Tragwerk der Statik als Wissensstruktur

EIN TRAGWERK ALS WISSENSSTRUKTUR $S = (M, R, EF)$



WOHER SOLL DAS WISSEN KOMMEN & DIE KI EIGENTLICH LERNEN?

1 Trainingsdaten: geprüfte Standsicherheitsnachweise

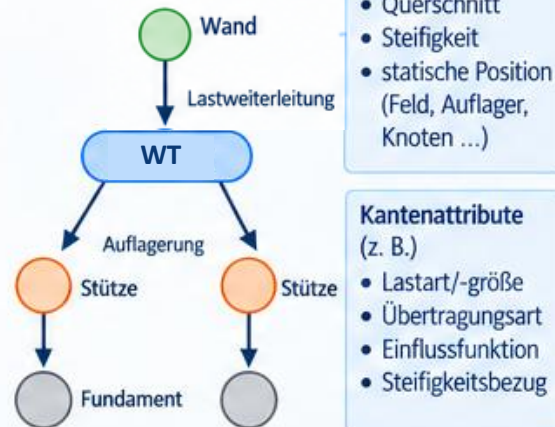
Reale, geprüfte Projekte mit

- Geometrie (BIM/IFC)
- Lastannahmen
- FE-Berechnungsergebnissen (Schnittgrößen N , V , M)
- statischen Positionen (z. B. Auflager, Feld, Rahmenknoten)
- Prüfergebnis / maßgebende Kombinationen



2 Transformation in Wissensgraphen

Jedes Projekt wird als Graph mit Bauteilen, Relationen und Attributen modelliert.



Knotenattribute
(z. B.)

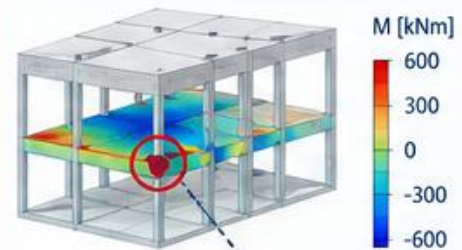
- Geometrie
- Material
- Querschnitt
- Steifigkeit
- statische Position (Feld, Auflager, Knoten ...)

Kantenattribute
(z. B.)

- Lastart/-größe
- Übertragungsart
- Einflussfunktion
- Steifigkeitsbezug

3 Quantitative Zielgrößen

Für ausgewählte statische Positionen werden aus der FE-Berechnung die Bemessungsschnittgrößen gespeichert.



Statische Position:
Feldmitte Unterzug U1

FE-Ergebnis (bemessungsrelevant):

$$M_{Ed} = 480 \text{ kNm}$$

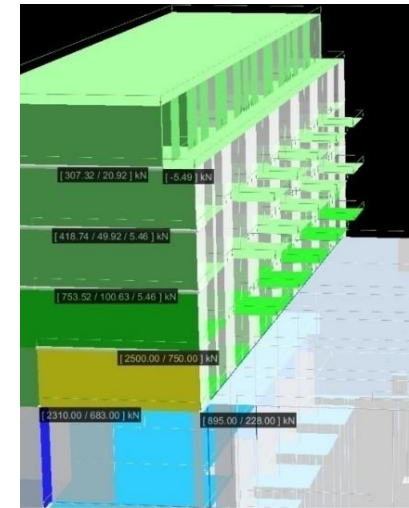
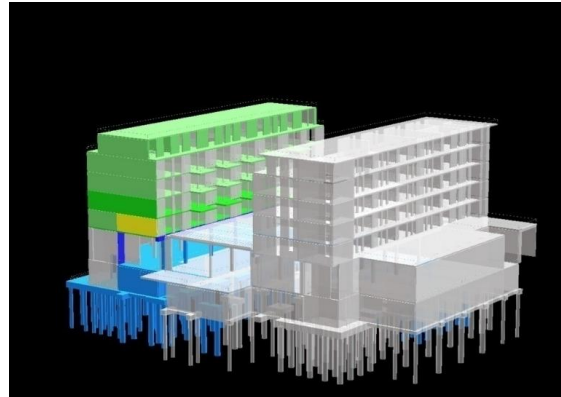
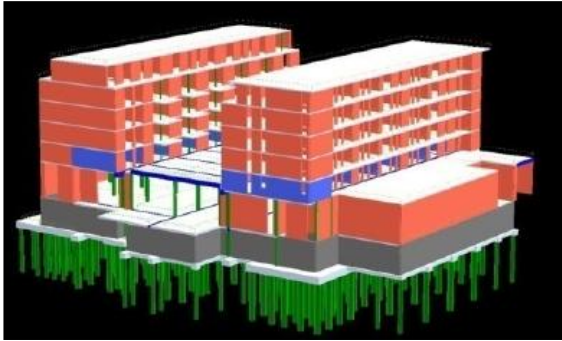
$$V_{Ed} = 210 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

Vorgehen zur maschinellen Verarbeitung ohne BIM-Modelle

1. Aus PDF-Statik wird Lastabtrag rekonstruiert
2. Über Inhalt der Pos.-Pläne in PDF sowie Statik wird Graph annotiert
3. Aus statischen Positionen Bemessungsschnittgrößen mit Querschnittsattributen
→ Speicherung in Graphdatenbank als Grundlage für ML

**Perspektiven für eine
zukünftige KI-Unterstützung
beim Prüfen**



Drei Arbeitsschritte bei der bautechnischen Prüfung

1. Überprüfung Bauantragsplanung mit dem Standsicherheitsnachweis

Import **Modell Bauantrag** und **TWP-Modell LP4 in IFC**

→ Geometrische Abweichungen, passt **Statik mit Pos.-Plänen in PDF** zum Antrag?

2. Unabhängige Kontrolle des Lastabtrags der statischen Berechnung

TWP-Modell mit Pos. und **Lastabtrag mit Belastungen/AR in IFC**

→ Bauteilgraph mit Belastungsrelationen korrekt und vollständig für Standsicherheit?

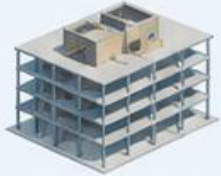
3. Pos.-bezogener Nachweis, dass Bauteile die Schnittgrößen aufnehmen

Berechnungsmodell in IFC und **statische Berechnung in PDF**

→ Schnittgrößen, AR, Bemessung korrekt?

BIM-BASIERTER BAUANTRAG → PRÜFUNG AM MODELL MIT KI?

1. Modelle einreichen



- Genehmigungsmodell (Architektur)
- Tragwerksmodell
- Statisches Berechnungsmodell (FEM) mit Pos.-Pläne und Bemessung

2. Automatische Vorprüfung (KI/GNN + Regeln)



- ✓ Geometrie- und Attributprüfung
- ✓ Modellabgleich (BIM ↔ Tragwerk ↔ Statik)
- ✓ Bauordnungs-Check

3. Fachliche Prüfung durch Prüfsingenieur



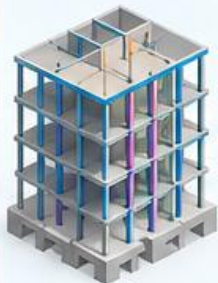
- Bewertung der Ergebnisse
- vertiefte Analyse komplexer Sachverhalte
- ggf. Rückfragen / Ergänzungen

Was kann auf einem Graphen erkannt werden?

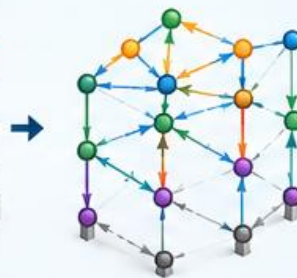
1

BIM-Modell als Graph

Das Gebäudemodell (z. B. IFC) wird in einen Graphen überführt. Bauteile sind Knoten, Beziehungen Kanten.



BIM / IFC
(z. B. Architektur + Tragwerk)



Graph-Repräsentation
des Gebäudes

Beispiel für Knoten (Bauteile)

- Decke
- Träger
- Stütze
- Wand
- Fundament

Beispiel für Kanten (Beziehungen)

- trägt / steht auf
- - - verbindet
- - - - grenzt an

2

Merkmale der Knoten und Kanten

Jedem Bauteil und jeder Verbindung werden Merkmale (Features) zugeordnet, z. B. Geometrie, Material oder Typ.

Knoten-Features (Beispiele)

- Bauteiltyp (z. B. Stütze)
- Geometrie (z. B. Querschnitt)
- Material (z. B. Beton C30/37)
- Geschoss / Position
- Lastannahmen (z. B. Nutzung)

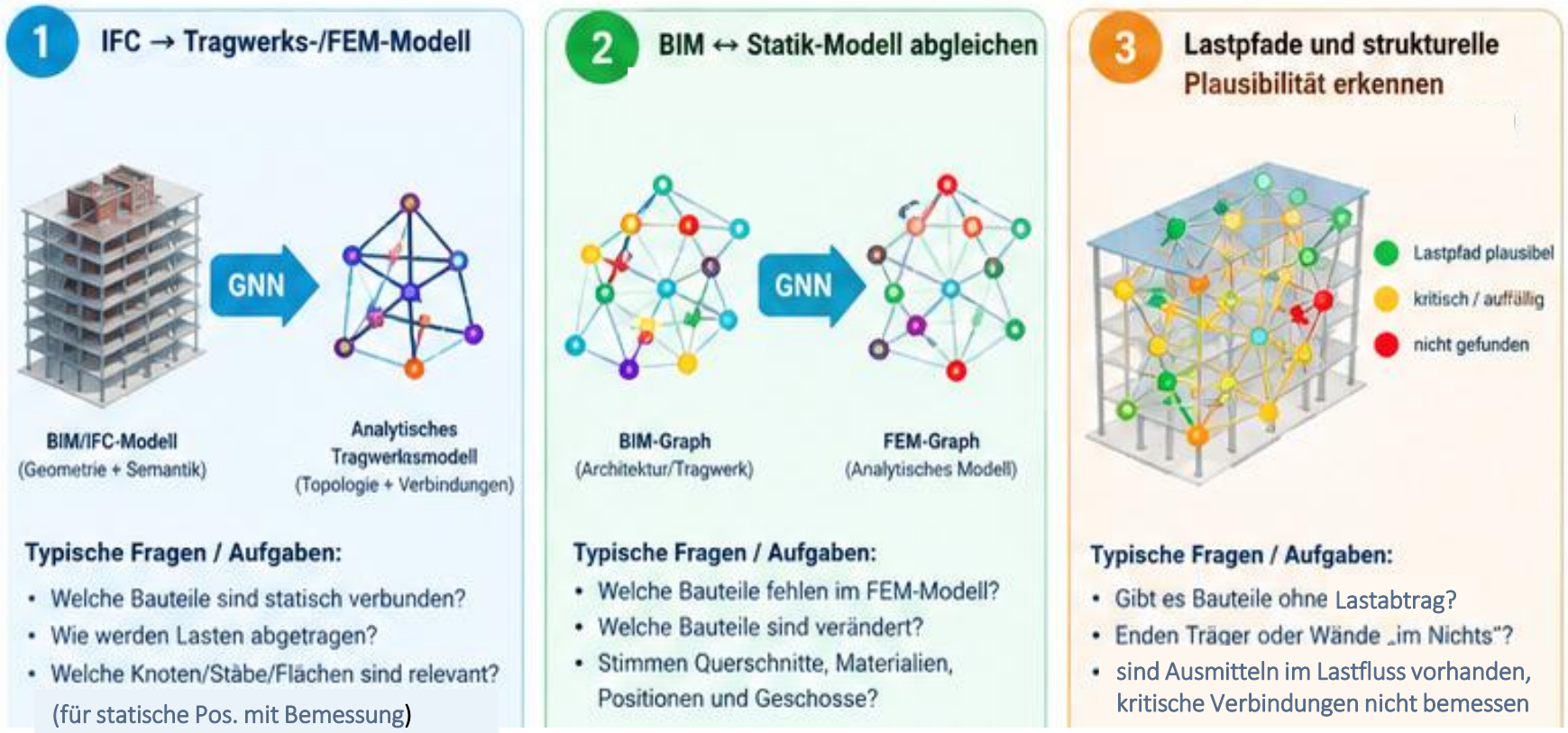
Kanten-Features (Beispiele)

- Verbindungstyp (z. B. gelenkig)
- Statische Wirkung (z. B. trägt)
- Richtung der Lastübertragung
- Entfernung / Lage



Die Features beschreiben nicht nur das Bauteil, sondern auch, wie es mit anderen Bauteilen zusammenhängt.

STATIK AM GESAMTMODELL → TRAGSTRUKTUR MIT KI ERKENNBAR?



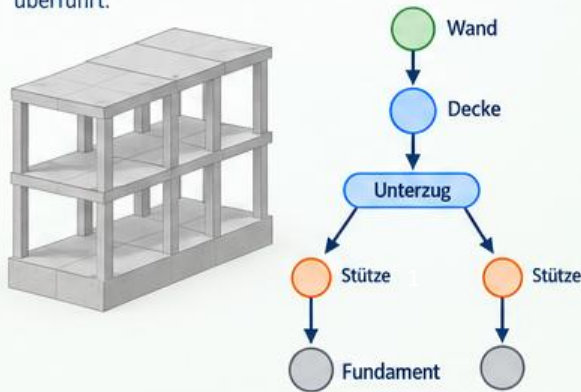
Schritt 1 und 2 mittels GNN auf Grundlage statischer Berechnung und Pos.-Pläne PDF sowie Tragwerksmodell in IFC

Schritt 3 GNN erkennt auf Basis IFC-Lastabtrag Auffälligkeiten, Regeln und mechanische Verfahren dienen anschließend der fachlichen Validierung

BEMESSUNGEN OFT ÄHNLICH → BERECHNUNG MIT KI ENTBEHRLICH?

1 Anwendung: Neue Planung

Für ein neues Bauvorhaben wird ein (teilweise) vorhandenes BIM-Modell in einen Graphen überführt.



2 Abfrage in Graphdatenbank und GNN-Inferenz

Für jede potenziell relevante Position werden ähnliche, geprüfte Fälle aus der Datenbank abgerufen und die Bemessungsschnittgrößen mit dem GNN vorhergesagt.

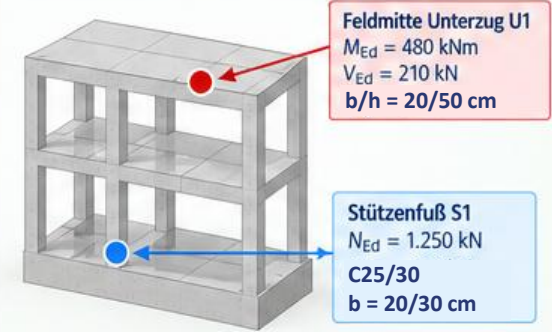
Suche nach ähnlichen Fällen

- gleicher Systemtyp (z. B. Decke auf Unterzug)
- ähnliche Geometrie und Lasten
- gleiche statische Position (z. B. Feldmitte)
- gleiche Randbedingungen (Auflager, Steifigkeit ...)



3 Ausgabe: relevante Positionen und quantitative Ergebnisse

Das System liefert die maßgebenden Positionen mit vorgeschlagenen Bemessungsschnittgrößen aus der Datenbank / GNN-Vorhersage.



Schritt 1 bis 3 auf Grundlage Lastabtrag in IFC und statischer Berechnung und Pos.-Pläne PDF wird über Graphdatenbank eine geprüfte stat. Pos. ausgegeben

Nutzen für den Prüfsingenieur



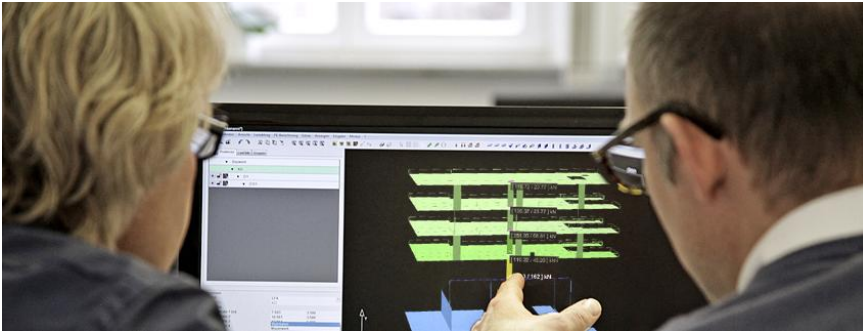
Transparente Herkunft der Daten
(geprüfte Nachweise)



Schneller Zugriff auf typische
maßgebende Positionen



Realistische, nachgewiesene
Bemessungsschnittgrößen



Geeignete Teilaufgaben übernimmt Computer

→ Nutzung des Expertenwissens aus geprüften Projekten

Steigerung der Produktivität/Nachvollziehbarkeit

→ Mehr Prüfkapazität bei zunehmender Komplexität

KI soll dem Prüfeningenieur helfen, die entscheidenden Zusammenhänge schneller zu erkennen und nachzuvollziehen.